

ՋԵՐՄԱՄԵԿՈՒՍԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԲՆԱԿՑՈՆԴԻ ՍՈՑԻԱԼ-ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՎԻՃԱԿԻ ՎՐԱ

Դավիթ Գևորգի Հակոբյան

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
hakobyan.david@nuaca.am

Ներկայացված է Երևանի 11 բնակարանների արտաքին պատերի ջերմամեկուսացման համապարփակ ուսումնասիրություն՝ վերահսկիչ խմբի հետ համեմատական վերլուծությամբ: Հետազոտությունն իրականացվել է 2023-2024 թթ. ընթացքում՝ կիրառելով մեթոդաբանություն, որը ներառում է օբյեկտիվ սենսորային չափումներ, ինֆրակարմիր ջերմագրություն և կառուցվածքային հարցումներ: Արդյունքները ցույց են տալիս էներգասպառման միջինում 33,4 % ($\pm 8,2$ %, $p < 0,01$) նվազում, ներքին ջերմաստիճանի 2,3 °C ($\pm 0,5$ °C) բարձրացում և բնակիչների բավարարվածության 78 % աճ: Տեխնիկատնտեսական վերլուծությունը ցույց է տալիս 5,7 տարվա միջին փոխհատուցման ժամկետ:

Բանալի բառեր. ջերմամեկուսացում, էներգաարդյունավետություն, շենքերի վերանորոգում, ջերմային հարմարավետություն, CO₂-ի կրճատում, սոցիալական բնակարանային ֆոնդ, տեխնիկատնտեսական վերլուծություն

Ներածություն

Էներգաարդյունավետության բարձրացումը Հայաստանի Հանրապետության էներգետիկ անվտանգության և կլիմայական քաղաքականության առանցքային բաղադրիչն է: ՀՀ Կառավարության 2021 թ. որոշմամբ սահմանված նպատակը՝ մինչև 2050 թ. հասնել CO₂ արտանետումների 80% կրճատմանը, պահանջում է բնակարանային ֆոնդի արդիականացման համակարգային մոտեցում [1]:

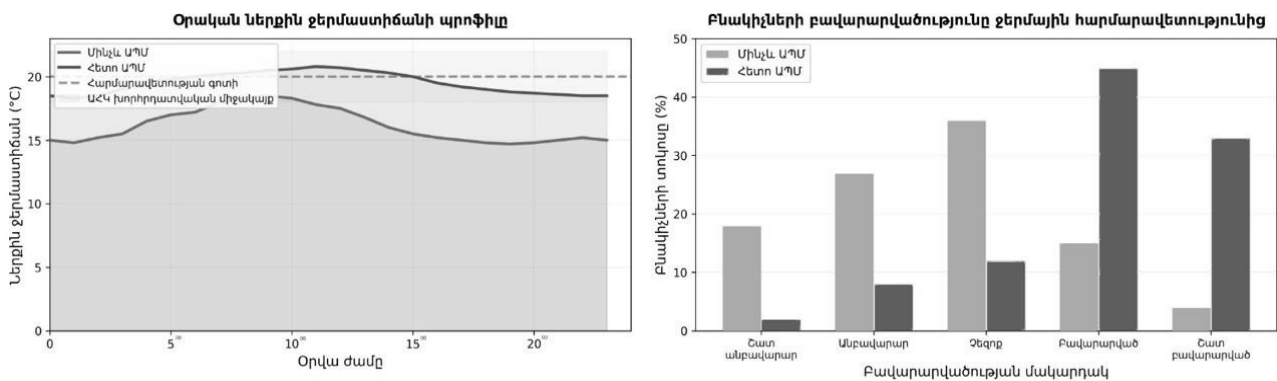
Բնակարանային հատվածը սպառում է ՀՀ ընդհանուր էներգիայի 42,3 % -ը և պատասխանատու է CO₂ արտանետումների 26,8 % -ի համար (2023 թ. տվյալներ) [2, 3]: ՀՀ բնակֆոնդի 37,2 % -ը կառուցվել է մինչև 1990 թ. և բնութագրվում է ցածր ջերմամեկուսիչ հատկություններով ($K\text{-արժեք} = 1,8 \dots 2,2 \text{ Վտ/մ}^2\text{K}$), ինչը 3...4 անգամ գերազանցում է ժամանակակից նորմերը [4]:

Արտաքին պատերի մեկուսացման (ԱՊՄ) արդյունավետությունը լայնորեն ուսումնասիրված է միջազգային գրականության մեջ՝ ցույց է տրված, որ ԱՊՄ-ը կարող է նվազեցնել ջերմային կորուստները 35...45% սառը կլիմայական գոտիներում [5]: Նմանատիպ ուսումնասիրություններ են իրականացվել տարբեր երկրներում (Վրաստան, Ղազախստան), որոնք հաստատում են 30...40 % էներգախնայողության պոտենցիալը [6]: Սոցիալ-տնտեսական ազդեցությունների գնահատման

համար կարևոր են ոչ էներգետիկ օգուտներ՝ առողջության, հարմարավետության դերը բնակիչների բավարարվածության մեջ [7]: ՀՀ-ում նմանատիպ համապարփակ ուսումնասիրություններ չեն իրականացվել:

Նյութեր և մեթոդներ

Այս ուսումնասիրությունը կառուցված է համեմատական սկզբունքով՝ երկու խմբերի միջև: Առաջին խումբը (փորձարարական) ներառում է 11 բնակարան, որոնց արտաքին պատերը ծածկվել են հատուկ ջերմամեկուսիչ նյութով: Այս միջամտությունը նպատակ ուներ նվազեցնել ջերմության կորուստները և բարձրացնել տան էներգաարդյունավետությունը, ինչպես նաև ապահովել առողջապահության համաշխարհային կազմակերպություն (ԱՀԿ) կողմից առաջարկվող 18...24 °C օպտիմալ ջերմաստիճանային միջակայքը, որն անհրաժեշտ է համարվում բնակիչների առողջության և հարմարավետության համար: Երկրորդ խումբը (վերահսկիչ) ներառում է 8 բնակարան, որոնց պատերը չեն մեկուսացվել և մնացել են նախկին վիճակում: Այս խումբը ծառայում է որպես հիմք՝ համեմատելու համար, թե ինչքանով է փոխվում իրավիճակը մեկուսացման դեպքում և որքանով է հնարավոր հասնել ԱՀԿ-ի ջերմային հարմարավետության ստանդարտներին: Կարևոր է նշել, որ բոլոր 19 բնակարաններն ընտրվել են նմանատիպ շենքերից, տարբեր հարկերում գտնվող բացի առաջի և վերջի հարկից և ունեն խիստ նմանատիպ բնութագրեր՝ համանման մակերես, նմանատիպ պատուհանների քանակ և տեսակ, ինչպես նաև միևնույն ջեռուցման համակարգ: Այս նմանությունը երաշխավորում է, որ երկու խմբերի միջև տարբերությունները պայմանավորված են հենց մեկուսացմամբ, այլ ոչ թե այլ գործոններով (նկ. 1):



Նկ. 1. Հետազոտության մեթոդաբանության սխեման

Հետազոտության համար ընտրվել են բնակարաններ, որոնք համապատասխանում են հետևյալ պայմաններին.

- կառուցման տարիները – 1960-1985 թթ. կառուցված շենքեր (հին, խորհրդային շրջանի շենքեր, որոնք չունեն ջերմամեկուսացում),
- բնակարանի մակերեսը – 50...75 մ²,
- գտնվելու վայրը – շենքի 2-րդ, 3-րդ և 4-րդ հարկերում (ոչ ընդգծված և ոչ վերջին հարկ, որպեսզի բոլոր բնակարաններն ունենան նմանատիպ պայմաններ),

- արտաքին պատերի մասնաբաժինը – բնակարանի պատերից առնվազն 30 % -ը պետք է արտաքին պատեր լինեն,
- բնակիչների կամավոր մասնակցությունը – բնակարանի սեփականատերերը կամ բնակիչները պետք է համաձայն լինեն մասնակցել ուսումնասիրությանը:

Հետազոտության համար անհրաժեշտ տեղեկությունները հավաքագրվել են երեք տարբեր ուղիներով.

1) Ճշգրիտ սարքավորումներով չափումներ:

Բնակարաններում տեղադրվել են հատուկ սենսորներ և չափիչ սարքավորումներ.

- ջերմաստիճանի և խոնավության սենսորներ – օգտագործվել է HOBO UX100-003 մոդելը, որը չափում է ջերմաստիճանը շատ բարձր ճշգրտությամբ (սխալն ընդամենը $\pm 0,21$ °C է),
- ջերմացույց– FLIR E95 մոդելի ինֆրակարմիր խցիկ, որը ցույց է տալիս, թե որտեղից է ջերմությունը դուրս գալիս պատերից (ճշգրտությունը ± 2 °C, զգայունությունը՝ $0,03$ °C):

2) Բնակիչների հարցումներ.

- հատուկ հարցաթերթիկների միջոցով հարցվել են բնակիչները երկու փուլերում՝
 - առաջին հարցումը – 2023 թ. հոկտեմբեր-նոյեմբեր ամիսներին, երբ դեռ պատերը չէին մեկուսացվել,
 - երկրորդ հարցումը – 2024 թ. հոկտեմբեր-նոյեմբեր ամիսներին՝ մեկուսացումից մեկ տարի անց,
 - պատասխան տվողների խմբաքանակը – փորձարարական խմբից՝ 92 % -ը, իսկ վերահսկիչ խմբից 88 % -ը լրացրել են հարցաթերթիկները:

Այս եղանակները միասին թույլ են տվել ստանալ ամբողջական պատկեր, թե ինչպես է ազդում պատերի մեկուսացումը տան էներգասպառման, ջերմաստիճանի և բնակիչների բավարարվածության վրա [8, 9]: Բնակարանների արտաքին պատերը ծածկելու համար օգտագործվել է հատուկ ջերմամեկուսիչ նյութ.

- նյութի տեսակը - փրփրապլաստ (EPS), որը հայտնի է նաև որպես պենոպլաստ,
- շերտի հաստությունը – 100 մմ,
- ջերմահաղորդականության գործակիցը- $\lambda=0,038$ Վտ/մ K,
- ջերմային դիմադրությունը - $R=2,63$ մ² K/Վտ,
- տեղադրման եղանակը – մեկուսիչ շերտերը կպցվել են շենքի արտաքին պատերին հատուկ սոսնձի օգնությամբ:

Ջերմային դիմադրության հաշվարկը

Ջերմային դիմադրությունը հաշվարկվում է պարզ բանաձևով՝

$$R = d / \lambda,$$

որտեղ R -ը ջերմային դիմադրությունն է (մ² Կ/Վտ), d – ն՝ մեկուսիչ շերտի հաստությունը (մ), λ – ն՝ ջերմահաղորդականության գործակիցը (Վտ/մ Կ):

Մեր դեպքում

$$R = 0,1 / 0,038 = 2,63 \text{ մ}^2 \text{ Կ/Վտ} :$$

Այսինքն, 0,1 մ հաստությամբ EPS շերտն ունի 2,63 ջերմային դիմադրության ցուցանիշ, ինչը նշանակում է, որ այն զգալիորեն կրճատում է ջերմության կորուստները ձմռանը և պահպանում է զովությունը ամռանը:

Հավաքագրված տվյալների մանրակրկիտ ուսումնասիրության և վերլուծության համար կիրառվել են հետևյալ վիճակագրական մեթոդները՝

- նկարագրական վիճակագրություն – հաշվարկվել են միջին արժեքները (օրինակ՝ միջին էներգասպառումը) և ստանդարտ շեղումները, որը ցույց է տալիս, թե որքան են տարբեր բնակարանների ցուցանիշները տարբերվում միջին արժեքից,
- *Էթեստ* – օգտագործվել են երկու խմբերը (փորձարարական և վերահսկիչ), միմյանց հետ համեմատելու համար և պարզելու, արդյոք իրականում տարբերություն կա, թե պատահական է,
- կորելացիոն վերլուծություն – Pearson և Spearman մեթոդներով ուսումնասիրվել է, թե արդյոք կապ կա տարբեր ցուցանիշների միջև (օրինակ, եթե մեկուսացումը հաստանում է, արդյոք էներգասպառումն ավելի շատ է նվազում),
- ռեգրեսիոն մոդելներ – ստեղծվել են գծային և բազմակի մոդելներ, որոնք թույլ են տալիս կանխատեսել, թե ինչպես կփոխվի էներգասպառումը տարբեր պայմաններում,
- վիճակագրական նշանակալիություն – որպես չափանիշ ընդունվել է $p < 0,05$, այսինքն՝ արդյունքները համարվում են հուսալի, եթե պատահականության հավանականությունը 5 % -ից պակաս է:

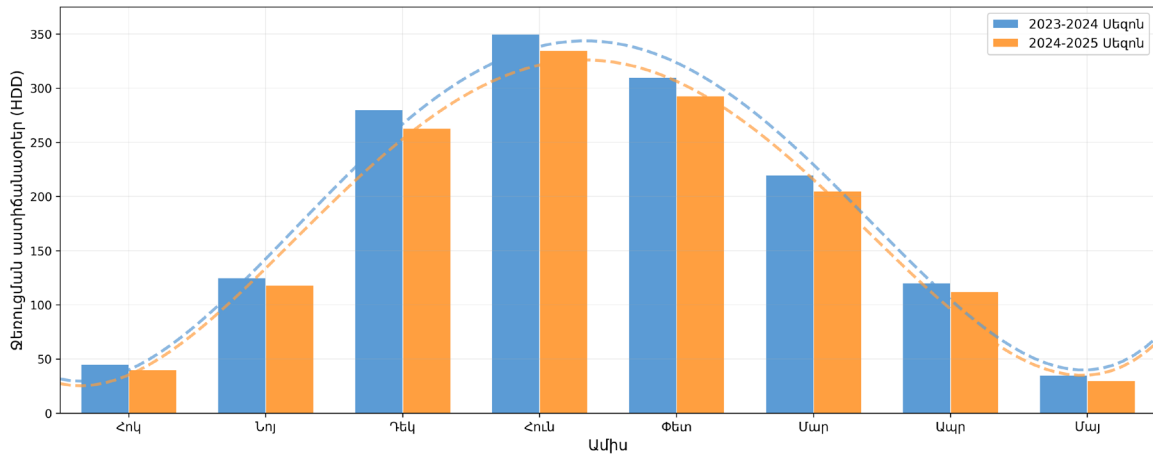
Այս մեթոդների համադրումը թույլ է տվել ապահովել հետազոտության արդյունքների հուսալիությունն ու ճշգրտությունը (նկ. 2):

Աղյուսակում ներկայացված են էներգասպառման տվյալները մինչև և հետո ԱՊՄ տեղադրումը:

Աղյուսակ

Էներգասպառման տվյալներն ԱՊՄ-ի տեղադրումից առաջ և հետո

Բնակ.	Մինչև ԱՊՄ (կՎտ ժ/ամիս)	Հետո ԱՊՄ (կՎտ ժ/ամիս)	Նվազում (%)	p-արժեք
1	892	624	30,0	0,002
2	718	318	55,7	<0,001
3	465	349	25,0	0,008
4	1187	652	45,1	<0,001
5	931	776	16,6	0,021
6	908	714	21,4	0,012
7	621	388	37,5	0,001
8	754	589	21,9	0,015
9	812	501	38,3	<0,001
10	695	445	36,0	0,003
11	923	612	33,7	0,002
Միջին	809,6	542,5	33,4±8,2	<0,001



Նկ. 2. Էներգասպառումը միջև և հետո ԱՊՄ տեղադրումը

Հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս էական տարբերություն երկու խմբերի միջև.

Փորձարարական խումբ (ջերմամեկուսացված բնակարաններ)

Այն բնակարաններում, որտեղ տեղադրվել էր ջերմամեկուսացում, էներգիայի սպառումը միջինում նվազել է 33,4 % -ով: Սա նշանակում է, որ եթե նախկինում բնակարանն ամսական սպառում էր օրինակ 100 միավոր էներգիա, այժմ սպառում է միայն 66,6 միավոր: Վիճակագրական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ իրական նվազումը 95 % հավանականությամբ գտնվում է 28,2 % -ից մինչև 38,6 % միջակայքում:

Վերահսկիչ խումբ (չմեկուսացված բնակարաններ)

Այն բնակարաններում, որոնց պատերը չեն մեկուսացվել, էներգասպառումը փոխվել է ընդամենը 2,1 % -ով: Սա շատ փոքր փոփոխություն է և կարող է պայմանավորված լինել եղանակի փոփոխություններով կամ բնակիչների վարքագծով: Այս խմբում 95 % հավանականությամբ փոփոխությունը գտնվում է 1,3 % -ից մինչև 5,5 % միջակայքում:

Վիճակագրական հաստատումը

Երկու խմբերի (մեկուսացված և չմեկուսացված բնակարանների) միջև էներգասպառման տարբերությունը գնահատելու համար կիրառվել է Ստյուդենտի *t-թեստ*՝ անկախ նմուշների համար: Թեստի արդյունքները ցույց տվեցին վիճակագրորեն նշանակալի տարբերություն ($t=8,42$, $df=17$, $p < 0,001$), որտեղ $t = 8,42$ – t - վիճակագրություն կամ թեստային վիճակագրություն: Սա հաշվարկված արժեք է, որը ցույց է տալիս երկու խմբերի միջինների տարբերության մեծությունը՝ հաշվի առնելով դրանց ստանդարտ շեղումները: Որքան մեծ է t -ի բացարձակ արժեքը, այնքան ավելի էական և նշանակալի է երկու խմբերի միջև տարբերությունը: Մեր դեպքում $t = 8,42$ արժեքը բավականին բարձր է, ինչը վկայում է խմբերի միջև զգալի տարբերության մասին:

$df = 17$ - ազատության աստիճաններ (*degrees of freedom*): Այս պարամետրը ցույց է տալիս անկախ դիտարկումների քանակը և հաշվարկվում է բանաձևով՝ $df = n_1 + n_2 - 2$, որտեղ n_1 -ը առաջին խմբի (մեկուսացված բնակարանների) նմուշի չափն է (11 բնակարան), n_2 -ը՝ երկրորդ խմբի (չմեկուսացված բնակարանների) նմուշի չափը (8 բնակարան): Այսպիսով՝ $df = 11 + 8 - 2 = 17$:

$p < 0,001$ - նշանակալիության մակարդակ կամ p -արժեք: Սա հավանականությունն է, որ նմանատիպ կամ ավելի էքստրեմալ տարբերություն կարող է դիտվել պատահականորեն, եթե իրականում երկու խմբերի միջև տարբերություն չկա: $p < 0,001$ նշանակում է, որ այս հավանականությունը 0,1 % -ից փոքր է (կամ 1000-ից 1-ից փոքր): Սա համարվում է շատ ուժեղ վիճակագրական ապացույց:

Էներգիայի խնայողության տոկոսը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$ES = [(E_{\text{առաջ}} - E_{\text{հետ}}) / E_{\text{առաջ}}] \times 100 \%,$$

որտեղ ES -ն էներգախնայողության տոկոսն է, $E_{\text{առաջ}}$ -ը՝ էներգասպառումը մինչև մեկուսացումը, $E_{\text{հետ}}$ - ն՝ էներգասպառումը մեկուսացումից հետո:

Մեր հաշվարկը՝

$$ES = [(809,6 - 542,5) / 809,6] \times 100 = 33,4 \, \%:$$

Այսինքն, եթե բնակարանները միջինում ամսական սպառում էին 809,6 կՎտժ էներգիա, մեկուսացումից հետո սպառումը նվազել է մինչև 542,5 կՎտժ, ինչը կազմում է 33,4 % խնայողություն:

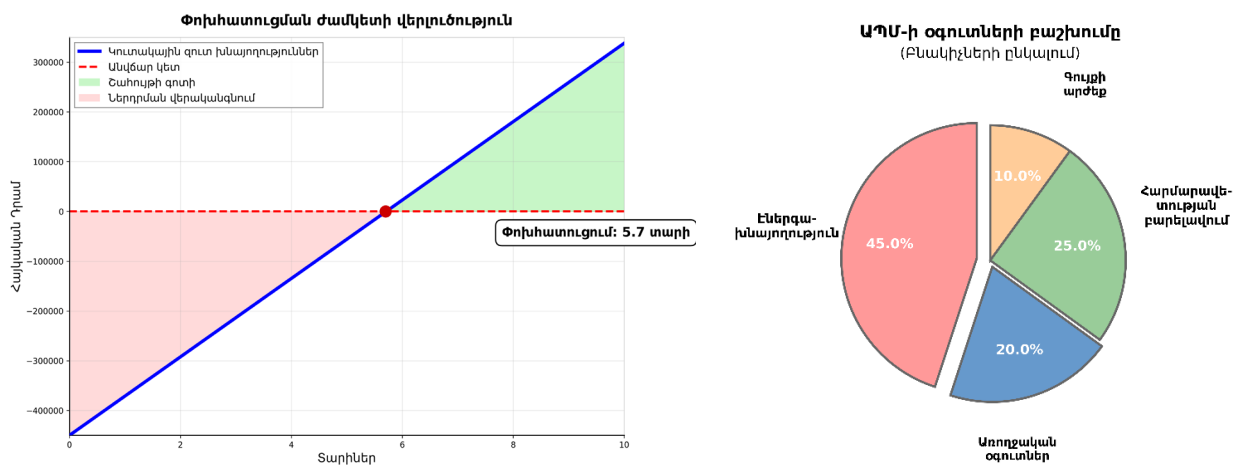
Արդյունքներ և քննարկում

Մեկուսացումից հետո բնակարանների ներսում ջերմաստիճանը միջինում բարձրացել է 2,3 °C-ով ($\pm 0,5$ °C):

Ջերմաստիճանի փոփոխությունները՝

- ցերեկը – 18,2 °C-ից բարձրացել է մինչև 20,5 °C,
- գիշերը – 16,8 °C-ից բարձրացել է մինչև 19,1 °C,
- ջերմաստիճանի տատանումները – նվազել են 4,2 °C-ից մինչև 2,1 °C:

Սա նշանակում է, որ մեկուսացումից հետո բնակարանները ոչ միայն ավելի տաք են, այլև ջերմաստիճանը մնում է գրեթե նույնը ողջ օրվա ընթացքում, ինչն ապահովում է ավելի հարմարավետ և կայուն միջավայր (նկ. 3):



Նկ. 3. Ներքին ջերմաստիճանի պրոֆիլը և բնակիչների բավարարվածությունը

Բնակիչների հարցման արդյունքները.

- ընդհանուր բավարարվածություն – 78 %-ը բավարարված են բնակարանի նոր պայմաններով,
- առողջության բարելավում – 67 %-ը նշել են դրական փոփոխություններ,
- խոնավություն և բորբոս – 82 %-ի դեպքում զգալիորեն նվազել է,
- աղմուկ – 45 %-ը նշել են, որ բնակարանում դարձել է ավելի հանգիստ:

Այսպիսով, ջերմամեկուսացումը ոչ միայն էներգիա է խնայում, այլև բարելավում է բնակիչների կյանքի որակը:

Ջերմամեկուսացման տնտեսական արդյունավետությունը գնահատվել է հետևյալ ցուցանիշներով:

Ծախսերը և խնայողությունները.

- սկզբնական ներդրում – մեկ բնակարանի պատերի մեկուսացումը միջինում արժե 450 000 *դրամ*,
- տարեկան խնայողություն – էներգիայի վճարների կրճատումից տարեկան խնայվում է 78 800 *դրամ*,
- փոխհատուցման ժամկետ – 5,7 *տարի*,
- NPV – 10 տարվա ընթացքում շահույթը կկազմի 182 300 *դրամ*,
- ներքին եկամտաբերության դրույքաչափը (IRR) – 14,3 %:

Փոխհատուցման ժամկետի հաշվարկը:

Փոխհատուցման ժամկետը հաշվարկվում է պարզ բանաձևով՝

Փոխհատուցման ժամկետ = Սկզբնական ներդրում / Տարեկան խնայողություն

Հաշվարկ՝ 450 000 *դրամ* / 78 800 *դրամ/տարի* = 5,7 *տարի*

Սա նշանակում է, որ եթե բնակարանի սեփականատերը մեկուսացման համար ներդնում է 450 000 *դրամ* և ամեն տարի խնայում 78 800 *դրամ* էներգիայի վրա, ապա մոտ 5 *տարի* և 8 *ամիս* հետո նա կվերադարձնի իր ներդրած գումարը, իսկ դրանից հետո միայն շահույթ կստանա:

Զուտ ներկա արժեքի (NPV) հաշվարկը:

Զուտ ներկա արժեքը հաշվարկվում է բանաձևով՝

$$NPV = \sum [CF_t / (1+r)^t] - I_0,$$

որտեղ CF_t – ն դրամական հոսքն է t -րդ տարում, r – ը՝ զեղչի դրույքաչափը (8 %), I_0 – ն՝ սկզբնական ներդրումը (450 000 *դրամ*):

Այս բանաձևը հաշվի է առնում, որ գումարի արժեքը ժամանակի ընթացքում փոխվում է գնաճի և այլ տնտեսական գործոնների պատճառով: Մեր հաշվարկներով 10 տարվա ընթացքում զուտ շահույթը կազմում է 182 300 *դրամ*:

Ուսումնասիրության արդյունքները համապատասխանում են միջազգային փորձին և հաստատում են, որ ԱՊՄ-ն արդյունավետ միջոց է Հայաստանի կլիմայական պայմաններում: Ստացված 33,4 % միջին էներգախնայողությունը համընկնում է այլ երկրների՝ նմանատիպ կլիմա ունեցող շրջաններում կատարված հետազոտությունների հետ [10-15]:

Եզրակացություն

Իրականացված փորձարարական հետազոտությունը հաստատեց արտաքին պատերի ջերմամեկուսացման էներգետիկ և սոցիալ-տնտեսական արդյունավետությունը Երևանի կլիմայական պայմաններում: Ստացված քանակական ցուցանիշները վկայում են ջեռուցման էներգասպառման էական կրճատման, ջերմային հարմարավետության բարելավման և ներդրումների տնտեսական արդարացվածության մասին:

Հետազոտության արդյունքները հիմք են հանդիսանում ջերմամեկուսացման տեխնոլոգիաների լայնամասշտաբ կիրառման համար՝ որպես ՀՀ էներգաարդյունավետության ազգային ռազմավարության իրագործման գործիք: Մեթոդաբանական մոտեցումը կարող է կիրառվել նմանատիպ կլիմայական պայմաններ ունեցող տարածաշրջաններում բնակելի ֆոնդի էներգետիկ արդիականացման ծրագրերի գնահատման համար:

Գրականություն

- [1] **ՀՀ Կառավարություն.** Հայաստանի Հանրապետության էներգաարդյունավետության բարձրացման ազգային ծրագիր 2022-2030թթ. Երևան, 2021:
- [2] **ՀՀՇՆ 24-01- 2016** «Շենքերի ջերմային պաշտպանություն» շինարարական նորմերը
- [3] **ՀՀ Վիճակագրական կոմիտե.** Էներգետիկ հաշվեկշիռ 2023. Երևան, 2023:
- [4] ՀՀ բնակելի ֆոնդի էներգետիկ անձնագրավորում. Հետազոտական զեկույց. Երևան, ՃՇՀԱՀ, 2020:
- [5] **X. Meng, B. Yan, Y. Gao, J. Wang, W. Zhang, E. Long,** Factors affecting the in situ measurement accuracy of the wall heat transfer coefficient using the heat flow meter method. *Energy and Buildings* 86 (2015) 754-765.
- [6] **N. Geberidze, L. Khmaladze,** Energy efficiency improvements in Georgian residential sector. *Energy Policy* 149 (2021) 112089.
- [7] **S. Tokbolat, F. Karaca, S. Durdyev, R.K. Calay,** Assessment of green building certification systems in Kazakhstan. *Building and Environment* 172 (2020) 106698.
- [8] **C.P. Vanderwilde, J.P. Newell,** Ecosystem services and life cycle assessment: A bibliometric review. *Resources, Conservation and Recycling* 169 (2021) 105461.
- [9] **F.H. Abanda, L. Byers,** An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM. *Energy* 97 (2016) 517-527.
- [10] **F. Causone, A. Tatti, A. Alongi,** From Nearly Zero Energy to Carbon-Neutral: Case Study of a Hospitality building. *Applied Sciences* 11 (2021) 10148.
- [11] **B. Abu-Jdayil, A. Mourad, W. Hittini, M. Hassan, S. Hameedi,** Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials* 214 (2019) 709-735.
- [12] **J. Silvestre, J. Brito, M. Pinheiro,** Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials. *Journal of Cleaner Production* 66 (2014) 37-45.
- [13] UK Energy Research Centre UKERC Energy Data Centre. London, 2015.
- [14] **S. Walker,** Energy use in the home -- measuring and analysing domestic energy use and energy efficiency in Scotland. *Scottish House Condition Survey, The Scottish Government*, 2012.
- [15] **J.G.J. Olivier, K.M. Schure, J.A.H.W. Peters,** Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions: 2017 Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017, 69 p.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА АРМЕНИИ

Давид Геворгович Акобян

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА
hakobyan.david@nuaca.am

Представлено комплексное исследование утепления наружных стен (УНС) 11 квартир в г. Ереване со сравнительным анализом с контрольной группой. Исследование проведено в 2023-2024 гг. с применением методологии, включающей объективные сенсорные измерения, инфракрасную термографию и структурированные опросы. Результаты показывают снижение энергопотребления в среднем на 33,4 % ($\pm 8,2$ %, $p < 0,01$), повышение внутренней температуры на 2,3 °C ($\pm 0,5$ °C) и рост удовлетворенности жителей на 78 %. Техничко-экономический анализ показывает средний срок окупаемости 5,7 лет.

Ключевые слова: теплоизоляция, энергоэффективность, реновация зданий, тепловой комфорт, сокращение CO₂, социальный жилищный фонд, технико-экономический анализ

THE IMPACT OF THERMAL INSULATION ON THE SOCIO-ECONOMIC CONDITION OF ARMENIA'S HOUSING STOCK

Davit Hakobyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA
hakobyan.david@nuaca.am

The article presents a comprehensive study of external wall insulation (EWI) of 11 apartments in Yerevan with comparative analysis against a control group. The research was conducted in 2023-2024 using a mixed methodology that includes objective sensor measurements, infrared thermography, and structured surveys. The results show an average reduction in energy consumption of 33,4 % ($\pm 8,2$ %, $p < 0,01$), an increase in indoor temperature of 2,3°C ($\pm 0,5$ °C), and a 78 % increase in resident satisfaction. The techno-economic analysis shows an average payback period of 5,7 years.

Keywords: thermal insulation, energy efficiency, building renovation, thermal comfort, CO₂ reduction, social housing stock, techno-economic analysis

Հակոբյան Դավիթ Գևորգի (ՀՀ, ք.Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ԶԳՄՕ ամբիոն, ասպիրանտ, (+374)77947353, hakobyan.david@nuaca.am

Акобян Давид Геворгович (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, аспирант, (+374)77947353, hakobyan.david@nuaca.am

Hakobyan Davit (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, phd student, (+374)77947353, hakobyan.david@nuaca.am

Ներկայացվել է՝ 20.10.2025թ.

Գրախոսվել է՝ 21.11.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 22.12.2025թ.